

## 두 센서 노드간 클럭 표류율과 기준 신호를 이용한 시간 동기 알고리즘

김현수<sup>○</sup> 김열상 전중남

충북대학교 전자계산학과

[michael\\_kim@cscs.cbnu.ac.kr](mailto:michael_kim@cscs.cbnu.ac.kr) [terry9c@cscs.cbnu.ac.kr](mailto:terry9c@cscs.cbnu.ac.kr) [joongnam@cscs.cbnu.ac.kr](mailto:joongnam@cscs.cbnu.ac.kr)

### Time synchronization algorithm using Clock Drift and Reference Signals between two sensor nodes

Hyounsu Kim<sup>○</sup> Yulsang Kim Joongnam Jeon

Dept. of Computer Science, Chung-buk National University

#### 1. 서론

최근 무선 센서 네트워크에 대한 연구가 활발하게 진행 되고 있다. 무선 센서 네트워크는 매우 소형화 되고 저전력을 사용하는 센서 노드로 구성되어 ad-hoc 네트워크 통신을 한다. 각 노드는 주변 환경으로부터 발생하는 데이터를 수집하거나 이웃 노드들과 통신을 할 수 있다. 무선 센서 네트워크 환경에서의 연구 중에서 시간 동기화 기술에 대한 연구는 다양한 응용에 사용될 수 있다. 시간 동기가 이루어진 무선 센서 노드의 타임 스탬프를 이용하여 시간 흐름에 따른 노드의 위치 추적 암호화 기술, 중복 이벤트 및 메시지를 감지 인식할 수 있다. 뿐만 아니라 TDMA 스케줄링을 통하여 사용하지 않는 시간 동안은 노드의 특정 모듈에 공급되는 전원을 사용하지 않음으로써 노드의 소비 전력을 줄일 수 있다.

본 논문에서는 이동 환경의 무선 센서 네트워크에서 시간 동기화의 정확성을 높이고 저전력으로 운용하는 시간 동기 알고리즘에 대하여 연구한다. 일반적으로 센서 노드는 각각의 노드마다 가지고 있는 고유의 클럭 휨으로 인해 지속적인 동기화 과정이 필요하다. 따라서 각 센서 노드가 가지는 고유의 물리 시간을 보정하기 위해서 로컬 시간을 사용한다. 그리고, 클럭 휨이 가지는 단점을 역 이용하여 노드 스스로가 주기적으로 클럭 휨을 이용하여 동기화를 지속적으로 유지할 수 있도록 한다. 그래서 이 과정이 정확하지 확인하기 위해 최소 크기의 데이터를 가지는 신호를 사용하여 동기화 정확도를 지속적으로 확인할 수 있는 시간 동기 프로토콜을 제안한다.

#### 2. 관련 연구

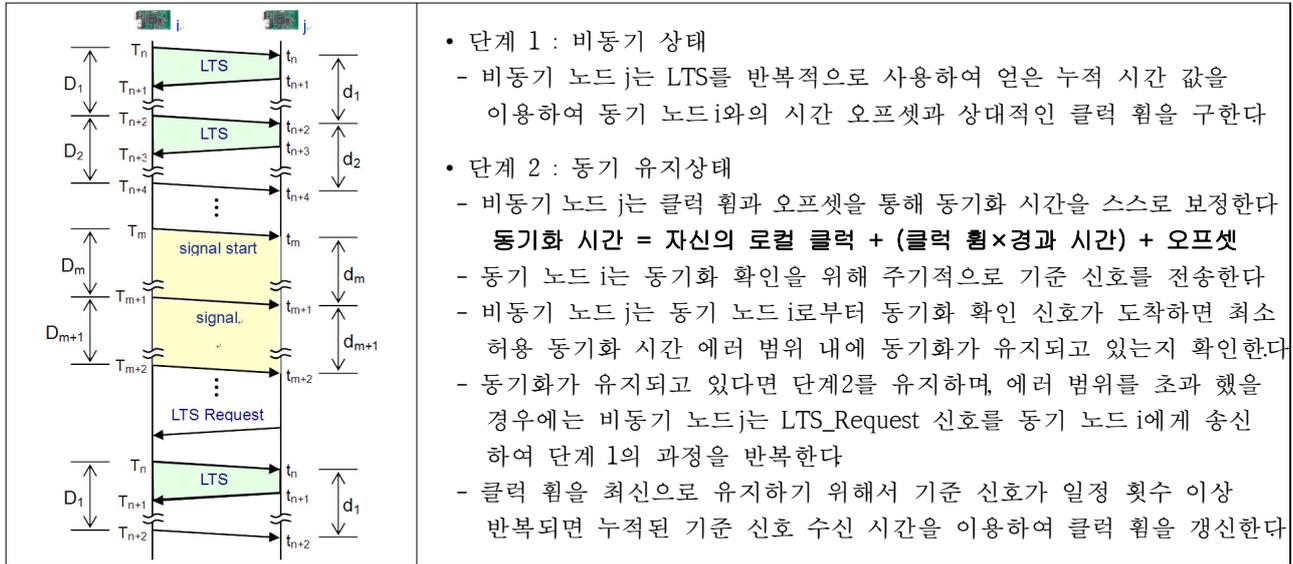
제한된 에너지와 처리 능력을 가지는 센서 노드의 특성으로 인해 기존의 컴퓨터 네트워크에서 사용하는 시간 동기화 기법을 바로 적용하는 것은 비효율적이다. 따라서 기존의 동기 기법을 수정하거나 새로운 동기 기법들이 제시되고 있다. 관련 연구를 통해 무선 센서 네트워크 환경에서 시간 동기화 과정에서 발생하는 여러 발생 원인과 클럭 휨에 대하여 알아본다. 그리고 주로 사용되고 있는 동기화 프로토콜과 최근 제시되는 기법들에 대해서 언급한다.

시간 동기화에서의 정확도는 시간 동기를 진행하는 과정에서 다양한 비결정적 요소들에 의해 떨어진 정확도를 떨어뜨리는 오류의 원인은 전송시간, 접근시간, 전달시간, 수신시간 지연으로 4가지로 나눌 수 있다. 또한, 무선 센서 노드는 일반 컴퓨터의 클럭과 마찬가지로 클럭 휨 증상을 가지고 있다. 실제 무선 센서 네트워크에서 S-MAC을 구현하기 위해서는 msec 단위의 정밀한 TDMA 스케줄링이 요구되는데, 클럭 휨으로 벌어지는 시간의 틈을 메우기 위해서는 재동기화에 대한 부담이 더욱 가중된다. 실제 무선 센서 네트워크에서 정확도를 재고하기 위해서는 클럭 휨을 반드시 고려하여 설계해야 한다.

대표적인 무선 센서 네트워크에서의 시간 동기화 기법으로는 TPSN과 RBS가 있으며, 이 기법들을 응용한 다양한 기법들이 있다. TPSN은 두 노드간에 서로의 송수신 시간 값을 주고 받음으로써 노드간의 오프셋을 측정하여 동기화를 진행하는 LTS를 이용하여 전체 네트워크를 동기화 하는 기법이다. RBS는 참조 노드로부터 받은 동기 신호에 맞추어 수신 노드들간에 동기화를 하는 기법으로 송신 시간과 접근 시간 에러를 없애는 방법이다. RBS는 노드가 밀집하여 있을 경우 TPSN 보다 이웃 노드끼리 많은 메시지 교환을 하는 문제가 있다. 또한 참조 노드가 보낸 시그널을 수신하고 난 직후 자신의 송신 시간을 실어서 보내는 사이에서 발생 가능한 시간이 고려되지 않았기 때문에 TPSN보다 정확도가 떨어진다. 이 밖에도 TPSN의 응용 프로토콜로는 누적 시간 정보를 이용한 시간 동기화 기법이 있고 RBS의 문제점들을 해결하고자 제시한 RIP 프로토콜이 있으며, TPSN과 RBS 두 프로토콜의 성질을 이용하여 클러스터의 밀집도에 따라 혼용하여 사용하는 Hybrid Energy-Aware Synchronization Algorithm이 있다.

### 3. CDRS 시간 동기화 알고리즘

본 논문에서는 두 노드 사이에서 시간 보정을 위한 클럭 표류(Clock Drift)과 기준 신호(Reference Signals)를 이용한 신뢰성 있는 시간 동기 알고리즘(CDRS)을 제시한다. 첫 번째 단계에서는 LTS를 이용하여 시간 보정 값인 노드간의 시간 차이와 클럭 휨을 구한다. 두 번째 단계에서는 동기화 된 노드로부터 오는 기준 신호를 주기적으로 받아서 재동기화를 진행한다. 동기화 진행 과정은 그림 1을 통해 알 수 있다.



- 단계 1 : 비동기 상태
  - 비동기 노드 j는 LTS를 반복적으로 사용하여 얻은 누적 시간 값을 이용하여 동기 노드 i와의 시간 오프셋과 상대적인 클럭 휨을 구한다
- 단계 2 : 동기 유지상태
  - 비동기 노드 j는 클럭 휨과 오프셋을 통해 동기화 시간을 스스로 보정한다  
**동기화 시간 = 자신의 로컬 클럭 + (클럭 휨 × 경과 시간) + 오프셋**
  - 동기 노드 i는 동기화 확인을 위해 주기적으로 기준 신호를 전송한다
  - 비동기 노드 j는 동기 노드 i로부터 동기화 확인 신호가 도착하면 최소 허용 동기화 시간 여러 범위 내에 동기화가 유지되고 있는지 확인한다
  - 동기화가 유지되고 있다면 단계 2를 유지하며, 여러 범위를 초과 했을 경우에는 비동기 노드 j는 LTS\_Request 신호를 동기 노드 i에게 송신하여 단계 1의 과정을 반복한다
  - 클럭 휨을 최신으로 유지하기 위해서 기준 신호가 일정 횟수 이상 반복되면 누적된 기준 신호 수신 시간을 이용하여 클럭 휨을 갱신한다

그림 1. CDRS를 이용한 시간 동기화 진행 과정

### 4. 실험 및 성능 평가

제안한 기법의 성능 평가를 위해 Network Simulator 2.31에서 2개의 노드를 Zigbee 환경에 맞추어서 측정해 보았다. 전력 소비량 기준은 버클리 모트 전력 소모량 측정표를 이용하였다

먼저 클럭 휨에 따른 시간의 정확도 비교의 경우 LTS는 주기적인 동기화를 진행하지 않을 경우 시간에 비례하여 주기적인 시간 동기화가 반드시 필요하다는 것을 알 수 있다. 하지만, CDRS의 경우 상대적으로 더 적은 횟수의 동기화 과정을 통해서도 더 높은 정확도를 얻을 수 있다. 동기화가 유지되는 2단계에서는 비동기 노드는 주기적으로 수신한 동기화 신호를 기록한 누적 시간 테이블을 이용함으로써 지속적으로 시간 오차가 벌어지지 않고 일정하게 시간 동기화가 유지됨을 확인할 수 있다. CDRS의 경우 클럭 휨과 오프셋 시간을 이용하여 LTS 대비 20배 이상의 정확도를 항상 유지할 수 있다.

CDRS 기법을 사용하면 기존 LTS 대비 약 35%의 메시지 발생량을 가지는 것을 확인할 수 있다. 더 적은 메시지를 사용함으로써 노드의 수명 역시 증가하게 되고 LTS 대비 약 250% 가량 수명이 늘어남을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라, 두 노드 사이에서 발생하는 메시지 발생량을 비교 분석한 결과 LTS는 동기화 노드와 비동기화 노드의 메시지 발생량이 2:1 정도였으나, CDRS의 경우 15:1 정도로 기존 LTS 대비 비동기화 노드에서의 메시지 발생량이 800% 이상 감소함에 따라 동기화 노드만이 시간 동기 메시지 전송에 관여함으로써 네트워크 토폴로지 구성 시 노드 간의 메시지 충돌이나 간섭 현상을 최소화 시켜줄 수 있다.

### 5. 결론

무선 센서 네트워크에서의 시간은 프로토콜이나 여러 응용 기법에 매우 중요한 역할을 수행한다. 본 논문에서는 센서 노드가 가지는 클럭 휨 증상에 의해 만들어지는 시간 차이를 노드 스스로 보정하면서 토폴로지의 변화에 대응하는 신뢰성 있는 시간 동기 알고리즘을 제안하였다. 두 개의 노드를 이용하여 LTS 기법을 반복 사용함으로써 시간 보정 값을 구하고 환경 변화나 지속적인 동기화 상태 확인을 위해 어떤 데이터도 실지 않은 메시지를 이용하여 주기적으로 동기화를 검증하였다. 이 방법을 통해 기존 LTS 대비 메시지 발생량을 50-60% 감소시킬 수 있었고, 노드의 수명은 약 250% 향상 되는 것을 알 수 있었다. 1단계 동기화 이후에는 주기적으로 신호를 받음으로써 토폴로지의 변화에도 대응하면서 LTS 대비 20배 이상의 정확성을 유지할 수 있었다.

향후에는 이 알고리즘을 이용하여 멀티 홉에서도 동작 가능한 시간 동기 프로토콜을 연구할 예정이다. 또한 이를 바탕으로 실제 무선 센서 네트워크 환경에서 TDMA 스케줄링을 활용하는 라우팅 프로토콜을 구현할 예정이다.